

CAPITA SELECTA

Stikstofbeheer en pH in recirculatie teeltsystemen

Door M. Verdegem en E. Eding, Visteelt en Visserij, Wageningen Universiteit.

Vis zet eiwit in het voer om in o.a. ammoniak en ammonia. In dit artikel wordt de invloed beschreven die deze afbraakproducten op de waterkwaliteit hebben. Een deel van deze afbraakproducten zijn schadelijk voor de vis, maar gelukkig wordt de viskweker bij de verwijdering van deze producten door miljarden bacteriën geholpen. Onder welke omstandigheden deze bacteriën de afvalproducten het beste aanpakken komt in dit stuk uitgebreid aan de orde.

Goede visteelt staat of valt met de hoeveelheid en kwaliteit van het eiwit in het voer. Eiwitten zijn samengesteld uit aminozuren, die zoals de naam het zegt, één of meerdere aminegroepen ($-NH_2$) bevatten. Gemiddeld maakt stikstof (N) 16% uit van het eiwitgewicht. Eén kg voer met 50% eiwit bevat dus 80 g stikstof.

In de Nederlandse recirculatiecultuur wordt ongeveer 45% van het eiwit in het voer omgezet tot eiwit in de vis. Alle eiwit in het voer wordt echter verteerd¹ en de fractie van het stikstof die niet vastgelegd wordt in groei moet het lichaam zo snel mogelijk uitscheiden. Mensen scheiden het overtollige stikstof uit als ureum via de urine. Vissen daarentegen scheiden het stikstof vooral uit als ammonium/ammoniak (NH_4^+ / NH_3)

1. Dit is een vereenvoudiging. Een kleine fractie van het eiwit wordt niet verteerd en niet alle N wordt als ammonium/ammoniak uitgescheiden.

via de kieuwen. Er wordt wel wat ureum gemaakt, maar heel beperkt. Uitgaande van ons 50% eiwitvoer komt er dus per kg voer 44 g stikstof in het water terecht.

Ammonium is een positief geladen molecuul of kation (NH_4^+) dat bij ontleding omgezet wordt in ammoniak (NH_3) en waterstof (H^+). Ammoniak is bij kamertemperatuur een gas, met een sterk prikkelende geur en is zeer sterk oplosbaar in water. Een geconcentreerde ammoniakoplossing in water kennen we allemaal als ammonia, waarvan de meeste mensen wel een fles thuis hebben bij de verfspullen.

TAN

Ammonium en ammoniak vormen in water een evenwicht als $NH_4^+ + OH^- \leftrightarrow NH_3 (gas) + H_2O (water)$. De som van NH_4^+ en NH_3 wordt totaal ammonium stikstof (\underline{N}) (TAN) genoemd. Ammoniak is reeds in lage concentratie giftig voor vis en het is belangrijk de concentratie in water zo laag mogelijk te

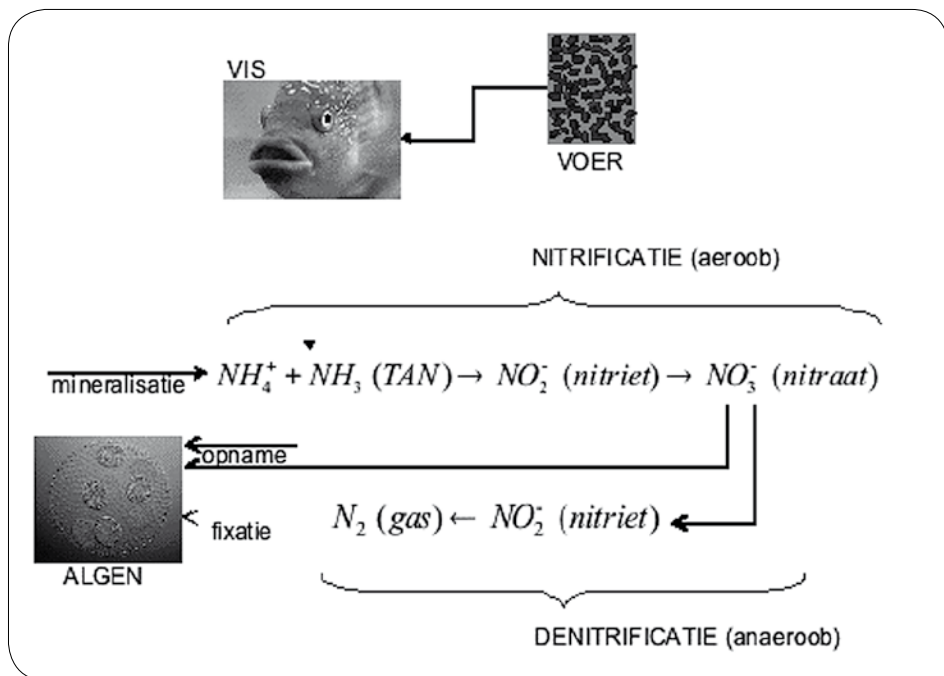
houden. Het ammonium/ammoniak evenwicht is sterk pH gevoelig. Als de pH daalt zal de verhouding $NH_4^+ : NH_3$ toenemen en omgekeerd. Zo zal bijvoorbeeld in zoet water bij 28°C 0,7% van het TAN als NH_3 aanwezig zijn. Bij een pH 8 wordt dit 7%, bij een pH 9, 41% en bij een pH 10, 88%. Dit evenwicht is ook temperatuurgevoelig. Hoe lager de temperatuur hoe minder het evenwicht gaat in de richting van NH_3 . Zo zal in zoet water van 16°C slechts 0.3% van de TAN als voorkomen. Bij 28°C is dit met 0,7% meer dan 2 keer zo hoog.

Zeewater heeft meestal een stabiele pH rond de 8. Een toenemend zoutgehalte verlaagt het percentage NH_3 in water. Is in zoet water het percentage NH_3 in de TAN 5,0% dan zal dit in 30 ppt zeewater 4,2% zijn.

Zonder waterverversing loopt in intensieve teelt de TAN concentratie heel snel op. Stel dat we een visdichtheid aanhouden van 100 kg / m³ en we voeren per dag een 50% eiwit voer op 2% van het lichaamsgewicht der vissen, dan gooien we elke dag 2 kg voer met 160 g stikstof in het water waarvan 88 g door de vissen wordt uitgescheiden in het water. Starten we met ammoniumvrij water dan is zonder waterverversing aan het eind van de dag de TAN concentratie reeds 88 mg/l. Dit is te hoog, vooral bij een pH van 7 of meer.

Nitrificatie

De gemakkelijkste manier om de waterkwaliteit optimaal te houden is via waterverversing. Water, dat hiervoor noodzakelijk is, is niet altijd voorhanden, en het is ook



Figuur 1: de relatie tussen nitrificatie en denitrificatie.

niet erg milieuvriendelijk. De geloosde afvalstoffen maken het milieu voedselrijker wat leidt tot eutrofiëring. Het is beter de TAN om te zetten via nitriet (NO_2^-) in nitraat (NO_3^-) met behulp van micro-organismen, een proces bekend als nitrificatie. Heel veel verschillende soorten micro-organismen zijn betrokken bij nitrificatie. In de meeste tekstboeken wordt gesteld dat bij de eerste stap van nitrificatie, waarbij ammonium wordt omgezet in nitriet, $\text{NH}_4^+ + 3/2 \text{O}_2$ (zuurstof) $\rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ vooral bacteriën van het geslacht *Nitrosomonas* betrokken zijn. Bij de tweede stap waarbij nitriet wordt omgezet in nitraat $\text{NO}_2^- + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$ bacteriën van het geslacht *Nitrobacter* de klus klaren. Dit komt omdat, als we de bacteriën uit een nitrificatiereactor gaan kweken op een kunstmatige voedingsbodem, het hoofdzakelijk deze twee geslachten zijn die goed groeien. Echter, dankzij recent ontwikkelde moleculaire technieken weten we nu dat, anders dan voor *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*, de meeste van de in de nitrificatiereactor aanwezige soorten niet groeien op een kunstmatige voedingsbodem: *Nitrosomonas* en *Nitrobacter* soorten dragen in de praktijk minder dan 20% bij aan de soortenrijkdom in het filter.

Reeds in lage concentraties zijn ammoniak (NH_3) en nitriet (NO_2^-) giftig, maar de concentratie van nitraat (NO_3^-) mag voor veel vissoorten oplopen tot 120-150 mg/l zonder noemenswaardige problemen te veroorzaken. Dus door het TAN om te zetten tot nitraat kan men uit met minder waterverversing, echter er wordt nog steeds een vergelijkbare hoeveelheid stikstof geloosd als bij doorstroomsystemen, alleen de vorm en concentratie verandert. Het probleem van eutrofiëring blijft dus bestaan.

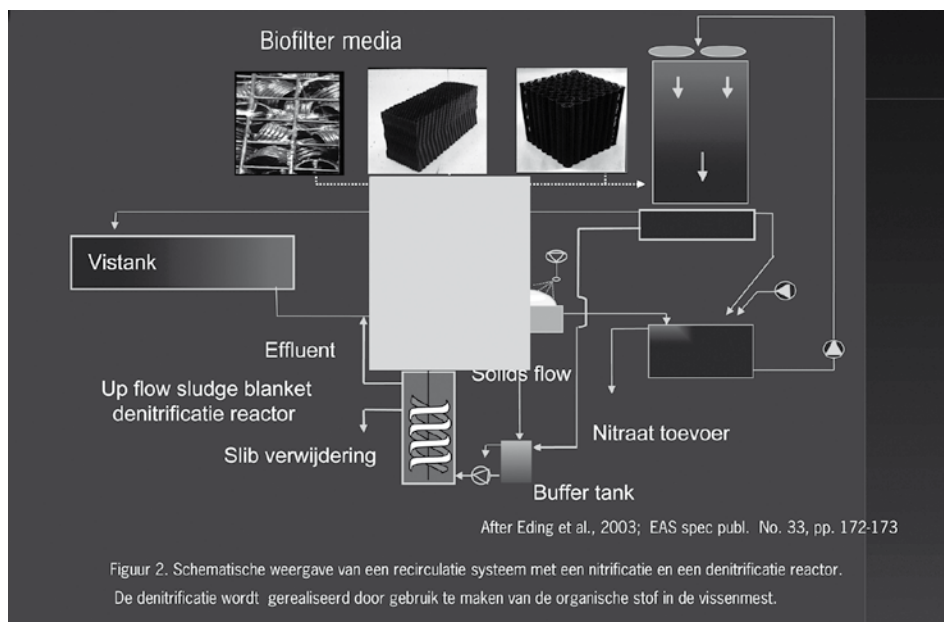
Denitrificatie

De oplossing hiervoor is het nitraat (NO_3^-) om te zetten tot stikstofgas (N_2) via het



Figuur 2. Experimenteel systeem met meerval (volgens schema in figuur 1) voor de kweek van meerval uitgevoerd met een nitrificatie en een denitrificatie reactor. Water versering ongeveer 25 liter per kg voer.

proces van denitrificatie. In tegenstelling tot nitrificatie wat plaats vindt in aanwezigheid van zuurstof, vindt denitrificatie alleen plaats onder zuurstofarme omstandigheden ($< 1 \text{ mg/l}$). In elk stukje oppervlaktewater vinden nitrificatie en denitrificatie naast elkaar plaats (Figuur 1). Elk water is immers een mozaïek van zuurstofarme en zuurstofrijke gebieden. Echter, in een recirculatiesysteem worden de juiste omgevingsomstandigheden het gemakkelijkst nagebootst in gescheiden reactoren. Door het scheiden van nitrificatie en denitrificatie kunnen we de processen sneller en efficiënt laten verlopen, wat ons toelaat hogere visdichtheden aan te houden dan onder natuurlijk omstandigheden kan. Net zoals bij nitrificatie zijn heel veel soorten bacteriën betrokken bij denitrificatie. Denitrificerende bacteriën breken in aanwezigheid van nitraat organische materiaal (OM) af tot bouwstenen voor eigen lichaamsopbouw en energie. De reactie kan (sterk vereenvoudigd) weergegeven worden als: $\text{OM (mest)} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{OM (bacteriële biomassa)} + \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Afhankelijk van de samenstelling van het



mest, wordt per kg droge stof ongeveer 0.35 tot 0.45 kg bacteriën gevormd. Denitrificatie heeft dus een dubbel voordeel:

- Nitraat wordt omgezet in stikstofgas, wat vervluchtigd en niet schadelijk is. 78% van de lucht bestaat uit stikstofgas.
- De mestpartikels en ongebruikte voerresten die via filtratie en bezinking verwijderd worden, kunnen als input dienen voor denitrificatie. Het organisch materiaal in de mest wordt afgebroken en omgezet in CO_2 en bacteriële biomassa waardoor minder afval wordt geloosd.

Zuur water geeft betere kweekresultaten

Bij nitrificatie verzuurt de oplossing (zie reactievergelijking; er komt H^+ vrij) en zakt de pH in de oplossing. Het omgekeerde gebeurt bij denitrificatie, zij het in mindere mate. Bijgevolg moet er steeds een hoeveelheid zout, meestal een bicarbonaatzout

(HCO_3^-), toegevoegd worden om de pH op peil te houden. In veel gevallen laten kwekers de pH zakken tot 5 à 6. Dit heeft als voordeel dat slechts een kleine fractie van de TAN als NH_3 aanwezig is en dat men de TAN concentratie hoog kan laten oplopen. Bovendien verlaagt de infectiedruk van parasieten en bacteriën en haalt men een betere productie dan bij hogere pH.

Dit is duidelijk een voorbeeld waar de praktijk voorloopt op de wetenschap. Resultaten van wetenschappelijk onderzoek zijn niet eenduidig. Soms vindt men dat vissen het beter doen in systemen met een lage pH. Heel vaak echter vindt men dat de groei juist achterblijft bij een lage pH. Kwekers stellen niet een terugval in groei vast bij lage pH, integendeel, bij lage pH groeien de dieren beter en is er minder uitval. Helaas kunnen we nog niet verklaren waarom dit zo is.

Amazonie

Dus in recirculatiesystemen zal door nitrificatie de pH dalen, wat gecorrigeerd kan worden door zout (bijv. natriumbicarbonaat) toe te voegen. De kweker kan zelf beslissen hoe laag hij de pH laat zakken. Net zoals bij het ammonium-ammoniak evenwicht, beïnvloedt de pH alle andere evenwichten tussen de vele aanwezige stoffen in het recirculatiewater. In de natuur is een lage pH niet ongewoon. Bijvoorbeeld in het Amazonebekken overstroomt de dicht begroeide uiterwaarden jaarlijks, en vindt er daarom veel biologische afbraak plaats waardoor de pH zakt. Bovendien heeft de bodem er een hoge zuurgraad. Een pH in het water van tussen de 4 en 5 is er heel gewoon. Een pH tussen de 3 en 4 is zelfs niet uitzonderlijk. Toch passen de lokale visgemeenschappen zich elk jaar opnieuw aan deze omstandigheden aan. Stabiele lage pH's kunnen we ook in intensieve recirculatiesystemen aanhouden. Echter, dan is



Figuur 3. Een up flow sludge blanket denitrificatie reactor, op de achtergrond het trickling filter voor de nitrificatie.

het wel wenselijk dat we de bovenvermelde tegenstrijdige onderzoeksresultaten kunnen verklaren, zodat we deze techniek verder kunnen verfijnen.

(Advertentie)

TE KOOP (OM GEZONDHEIDSREDENEN),
IN HET ZUIDEN VAN FRANKRIJK (REGIO LANGUEDOC-ROUSSILON):

EEN FORELLENKWEKERIJ

Productie op jaarbasis circa 10 ton forel. Rookinstallatie
en verwerkingslaboratorium, voorzieningen voor
kleinschalige restauratie, woonhuis met bijgebouwen.
Bedrijf is in volle expansie en heeft een goed rendement.

*Heeft u interesse dan kunt u direct telefonisch contact opnemen
met de eigenaar de heer Frésard (franstalig, tel. 00 33 4 67 97 71 61)
of per e-mail met de heer C. Lokin (nederlandstalig, clokin@orange.fr
o.v.v. moulin de Napoléon)*